

I-107 節点帯板法によるプレート・ガーダー橋の立体解析

鹿島建設株式会社 正会員 渡辺 力
長岡技術科学大学 正会員 林 正
長岡技術科学大学 大学院 平 正和

1. まえがき

長大薄肉構造物を効率よく計算するために、節点と節線に関する2種類の自由度を有する節点帯板法を過去に提案した¹⁾。この解析法では、節線自由度の変位関数にはりの固有関数を用いていたが、一定ひずみモードを加えるために固有関数を多項式の級数に置き換えて応力の精度の向上を図った。さらに、マルチレベルのサブストラクチャー法を用いて、プレート・ガーダー橋の立体解析に適用した結果について報告する。

2. 変位関数

節点帯板法における変位関数は次式で与えられる¹⁾。

$$\begin{aligned} u(x,y) &= \mathbf{f}_{01}^T \mathbf{d}_0 + \mathbf{f}_{11}^T \sum U_m \mathbf{d}_m, \quad v(x,y) = \mathbf{f}_{02}^T \mathbf{d}_0 + \mathbf{f}_{12}^T \sum V_m \mathbf{d}_m \\ w(x,y) &= \mathbf{f}_{03}^T \mathbf{d}_0 + \mathbf{f}_{13}^T \sum W_m \mathbf{d}_m \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 $\mathbf{d}_0$ 、 $\mathbf{d}_m$ はそれぞれ節点自由度と節線自由度の第 m 項に対する一般化変位、 $\mathbf{f}_{0i}$ 、 $\mathbf{f}_{1i}$ ($i=1,2,3$)は $\mathbf{d}_0$ と $\mathbf{d}_m$ の形状関数ベクトルである。また、 U_m 、 V_m 、 W_m は節線変位を x 軸方向に級数展開するための展開関数で、本文では次式の多項式を用いる。

$$U_m(\xi) = (1 - \xi^2) \xi^{m-1}, \quad V_m(\xi) = W_m(\xi) = (1 - \xi^2)^2 \xi^{m-1} \quad (m=1,2,\dots) \quad (2)$$

なお、 ξ ($-1 \leq \xi \leq 1$)は x を要素の長さ $2a$ で正規化した座標である。

3. 薄肉構造解析

薄肉構造物を構成する基本構造ユニットとして、節点帯板要素、補剛材要素（オフセット・ビーム）、FEM要素、3次元はり・トラス要素を用いる。これらの構造ユニットを図-1に示すサブストラクチャー法に用いて全体構造解析を行う。本解析法では、節点帯板要素を結合して節線自由度を消去したブロック要素と、これを組み合わせて内部節点を消去したスーパー要素を使用する。

4. 解析モデル

図-2のような3本の主桁と1本の横桁を有するプレート・ガーダー橋の対傾構、横構による2次応力解析を行う。主桁は2軸対称のI形断面で、フランジ厚を変化させた。3本の主桁は同一断面とし、中間対傾構と上・下横構には断面積の等しいトラス材を用いる。また、端対傾構部材の断面積は中間対傾構の2倍とした。対傾構の取付け個所とその中間点に垂直補剛材を設け、主桁には水平補剛材を取付けた。これらの部材の断面寸法を表-1に示す。

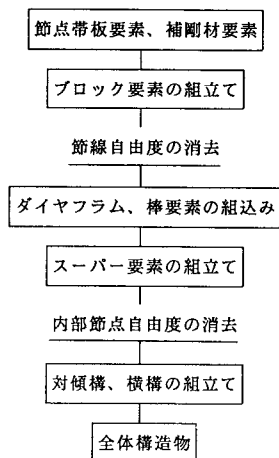


図-1 構造解析のフロー

死荷重として満載等分布線荷重 q_1 、 q_2 を主桁の上フランジに載荷した。

$$q_1 = 32.30 \text{ kg/cm (G}_1\text{、G}_3\text{桁)}, \quad q_2 = 23.72 \text{ kg/cm (G}_2\text{桁)}$$

また、活荷重($L-20$)は図-3のように偏載させ、線荷重 P はスパン中央に、等分布荷重 p は主桁全長にわたって載荷した。なお、衝撃($i=0.2857$)は考慮する。

以上のような構造物をModel-1とし、横桁のみ設けて対傾構と横構を取り除いた構造物をModel-2とする。主桁と横桁の断面内の要素分割は図-4に示す通りで、橋軸方向には主桁を対傾構の取り付け点で8分割し、横桁は幅員方向には分割しない。また、比較のために、Model-2で垂直補剛材を省いた構造物をModel-3とし、これをせん断変形を考慮した棒理論で解析する。なお、水平補剛材は部材剛性に換算した。

表-1 部材断面諸量

member	H × B × t _w × t _f (mm)
main girder	1675 × 400 × 9 × (15, 25, 30)
cross beam	1214 × 310 × 9 × 14
hori. stiff.	100 × 9
verti. stiff.	150 × 10, 180 × 14
bracing	A = 29.83, 59.66 (cm ²)

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2, \quad \nu = 0.3$$

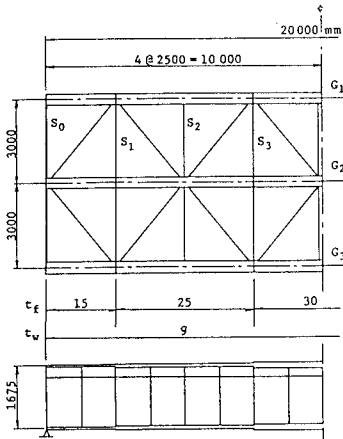


図-2 プレート・ガーダー橋

5. 主桁の応力

級数に3項用いて計算した死・活荷重による値と、棒理論による値を比較する。図-5はG₁桁の上フランジ応力 σ_x 、図-6、7は上横構取付け高さでのウェブ応力 σ_x 、 τ_{xy} を示したものである。図-5のフランジ応力は板厚が変化する点で不連続になるが、その他の点で連続していることから、フランジ応力に及ぼす対傾構などの影響は少ないものと思われる。これは、対傾構や横構の取付け位置とフランジの間隔が長い(23.05cm)ためである。

図-6のウェブの応力 σ_x は、中間対傾構（ S_2 ）を取付けたスパン1/4点での変化はわずかであるが、上横構の取付け点（スパン1/8、3/8点。図-2参照）でModel-1の応力に急激な変化が見られる。また、ウェブの板厚は一定であることから、本計算例では、横構ブレース材の軸力によりウェブに局所的な2次応力が生じたものと考えられる。なお、Model-3では、棒理論による変断面材としての計算結果から応力は不連続になる。

図-7のウェブのせん断力は支点部と中央部分を除いて、棒理論による値とほぼ一致している。

図-8にG₃桁のウェブの応力 σ_x を示す。着目点は図-6と同じである。G₃桁でもウェブに顕著な2次応力が生じており、その値はG₁桁とは逆符号になっている。

対傾構と横構の軸力の計算結果は省略するが、これらの軸力を通常の骨組解析で求めることは困難である。

なお、本計算例では橋軸方向の境界条件が非対称のために構造全体を解析した。そのときのCPUタイムは、東大大型計算機センターのHITAC M-682Hで11.5秒であった。

1) 笹戸松二・林 正・中嶋学夫・中島一朗：節点帯板法による薄肉構造物の解析、第9回構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、1985.

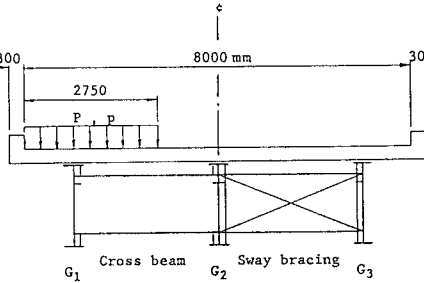
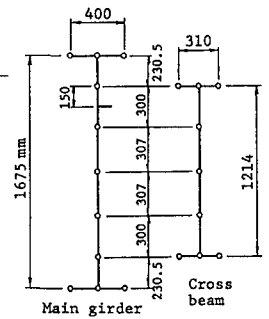


図-3 活荷重の載荷位置



図一4 断面内の要素分割

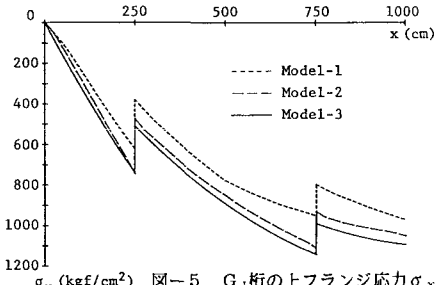


図-5 G_1 桁の上フランジ応力 σ_x

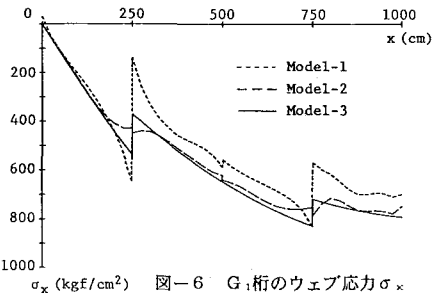


図-6 G_1 桁のウェブ応力 σ_x

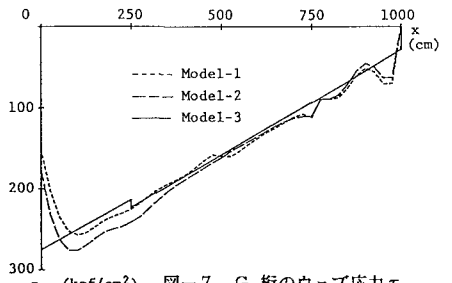


図-7 G_1 桁のウェブ応力 τ_{xy}

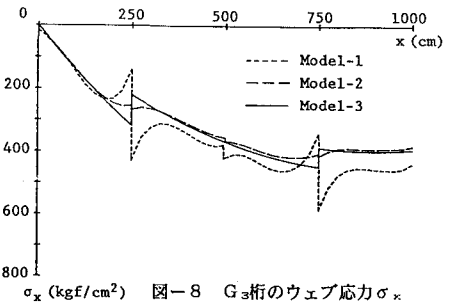


図-8 G_3 桁のウェブ応力 σ_x